

【発明の名称】 対物レンズおよびその製造方法

【発明の詳細な説明】

【発明の属する技術分野】

本発明は、いわゆる光ディスク等の高密度光情報記録媒体の記録用および再生用の少なくとも一方に用いる対物レンズに係り、特に短波長の光源を用いる高密度の記録・再生に好適な対物レンズおよびそのような対物レンズの製造方法に関するものである。

【従来技術】

従来より光記録媒体として広く利用されているCD（コンパクトディスク）は、開口数NAが主として0.45～0.5の範囲で利用されており、また、DVD（デジタルバーサタイルディスク）は、開口数NAが0.6～0.65の範囲であり、波長が650～780nm程度の光源を用いて光情報記録を行っていた。

しかしながら、大容量化のニーズに伴い、より高い記録密度での記録を可能とする高密度光情報記録媒体およびその記録・再生用の光学系が求められている。このため、こうした用途、すなわち高密度光情報記録媒体の記録・再生用の光学系に用いるための対物レンズには、一層の高NA化が求められている。

【特許文献1】

特開2001-324673公報

この特許文献1には、高密度の光情報記録媒体の記録・再生用の光学系に用いられる対物レンズであって、開口数NAが0.75以上で、光源波長が400nm程度の高密度記録・再生装置に好適なレンズが記載されている。

また、この特許文献1には、非球面単玉対物レンズであって、軸上レンズ厚を $d_1$ 、焦点距離を $f$ として、

$$1. \quad 1 \leq d_1 / f \leq 3$$

を満たすレンズや、アッベ数を $v_d$ 、使用波長での屈折率を $n$ および光源側の近軸曲率半径を $r_1$ として、

$$1. \quad 2 \leq d_1 / f \leq 2.3 \quad f / v_d \leq 0.060$$

$$1. \quad 40 \leq n$$

$$1. \quad 40 \leq n < 1.85 \quad 0.40 \leq r_1 / (n \cdot f) \leq 0.70$$

の各式を満たすレンズなどが記載されている。

## 【特許文献 2】

特開 2002-156579 公報

また、この特許文献 2 には同様の高密度化に適する対物レンズとして、開口数 NA が 0.7 以上の両面非球面レンズであって、レンズの中心厚さが焦点距離より長いレンズも提案されている。

## 【発明が解決しようとする課題】

次世代大容量光ディスクでは、記録密度を上げるために光源の波長として従来より短波長側の 400 nm 付近を用いることが必要になる。この場合、例えば、光源として青紫色半導体レーザーを用い、また対物レンズとしては、開口数 NA が 0.8 以上の非球面レンズを用いることが求められる。

ところで、光ディスク用の対物単玉レンズにおいて、軸外収差、偏心公差または色収差と、レンズ厚との間には、ある関係がある。従来の CD または DVD 用の対物レンズでは、その開口数 NA の値の範囲により、求められる収差から許容されるレンズ厚の範囲は比較的広い。このため、もっぱら作動距離、レンズ重量等の物理的制約に基づいてレンズ設計を行い、レンズ厚を決定することが可能であった。しかしながら、大容量光ディスク用単玉対物レンズでは、高 NA であるために、収差が大きくなる傾向がある。十分な光学性能を得るためすなわち、収差を所定範囲以下とするためには、レンズ厚のとりうる範囲が限定される。この結果、高 NA 用の単玉対物レンズは、従来の CD または DVD 用の対物レンズと比較して、有効なレンズ厚が焦点距離に対して大きくなる。

このようにレンズが厚くなると、それに伴って、レンズ素材の体積が増加する。すなわち、レンズ素材として用いられる予備成形された光学素材、例えば球形状のプリフォーム、の半径  $r$  が大きくなる。半径  $r$  が金型における成形面の近軸曲率半径  $R$  (成形されるレンズの近軸曲率半径  $R$  と略等しい) を超えると、所望のレンズ面精度を得ることが困難になるという問題が発生する。

例えば、このようなレンズで、凸面を有するものをモールドプレス成形によって成形する場合、成形する前の予備成形された成形素材、すなわちプリフォーム (例えば、ガラスからなるガラスプリフォーム等)、の曲率半径  $r$  よりも金型成形面の曲率半径  $R$  が小さいと、プレス成形に際して、金型側の凹面の成形面に、それより曲率半径の大きなプリフォームが配置される。この状態で押圧成形しよ

うとすると、成形面とプリフォームとの間に、空気または所定のガス等の雰囲気気体が閉じ込められ、そのまま気体を排出できずに成形すると、成形後のレンズに凹みが生じるなど、所望のレンズ面精度を満たさないものとなる。

本発明は、上述した事情に鑑みてなされたもので、モールド非球面単レンズからなる光情報記録・再生用の対物レンズにおけるレンズ収差の抑制およびレンズの製造性を両立させて、優れた光学特性を確保し、且つ金型の成形面を加工する型加工の段階およびレンズ製造段階のプレス成形などにおいて高い生産効率を得ることを可能とする対物レンズおよびその製造方法を提供することを目的としている。

すなわち、本発明の請求項1の目的は、特に、プリフォームと金型間に気体が閉じ込められたまま成形されることを効果的に防止し、面精度の高いレンズを成形することを可能とする対物レンズの製造方法を提供することにある。

また、本発明の請求項2の目的は、特に、製造性を一層向上し且つ軸外収差および色収差を一層改善することを可能とする対物レンズの製造方法を提供することにある。

本発明の請求項3の目的は、特に、少なくとも基準波長についての無限系レンズとして用いるのに好適な対物レンズの製造方法を提供することにある。

本発明の請求項4の目的は、特に、作動距離を確保し、軸外の画角収差、色収差、さらにはレンズ重量の増大をも効果的に抑制することを可能とする対物レンズの製造方法を提供することにある。

本発明の請求項5の目的は、特に、当該レンズを用いる光ピックアップ等の組立てをさらに容易にすることを可能とする対物レンズの製造方法を提供することにある。

本発明の請求項6の目的は、特に、レンズ曲面の曲率を極端に強くすることなく、高い屈折力を得ることができ、且つ金型成形面の精密加工が比較的容易で、色収差を効果的に低減させることができるとともに、金型素材の選択も容易な対物レンズの製造方法を提供することにある。

そして、本発明の請求項7の目的は、特に、プリフォームと金型間に気体が閉じ込められたまま成形されることを効果的に防止し、面精度の高いレンズを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

請求項 1 に記載した本発明に係る対物レンズの製造方法は、上述した目的を達成するために、所定形状に予備成形し、加熱軟化した状態の成形素材を、対向する成形面を有する上下一对の金型を用いてプレス成形することを含む、光情報記録・再生用の対物レンズの製造方法において、

前記対物レンズは、第 1 面に凸非球面を有し且つ開口数 NA が、

$$NA \geq 0.8$$

を満たすレンズであり、

r を半径とする球形状の成形素材を用い、該成形素材を上下一对の金型間で押圧することによって成形面形状を転写する工程を含むとともに、

前記凸非球面の近軸曲率半径 R は、

$$r/R \leq 1.35$$

なる関係を満足することを特徴としている。

請求項 2 に記載した本発明に係る製造方法は、請求項 1 の製造方法において、

前記 r および前記凸非球面の近軸曲率半径 R が、

$$1.0 \leq r/R \leq 1.3$$

を満足することを特徴としている。

請求項 3 に記載した本発明に係る製造方法は、請求項 1 または請求項 2 の製造方法において、基準波長に対する前記対物レンズの光学倍率がゼロであることを特徴としている。

請求項 4 に記載した本発明に係る製造方法は、請求項 1 ～請求項 3 のうちのいずれか 1 項の製造方法において、

前記対物レンズの焦点距離を f (mm) とするとき、

$$0.5 \leq f \leq 2.1$$

を満足することを特徴としている。

請求項 5 に記載した本発明に係る製造方法は、請求項 1 ～請求項 4 のうちのいずれか 1 項の製造方法において、基準波長  $\lambda$  における、前記対物レンズの軸上波面収差が  $0.04\lambda$  r m s 以下であることを特徴としている。

請求項 6 に記載した本発明に係る製造方法は、請求項 1 ～請求項 5 のうちのいずれか 1 項の製造方法において、前記対物レンズが、屈折率 n が 1.65 以上、

アッペ数 $v_d$ が40以上、そして屈伏点 $T_g$ が650℃以下の光学ガラスからなることを特徴としている。

請求項7に記載した本発明に係る対物レンズは、上述した目的を達成するために、

第1面に凸非球面を有し且つ開口数NAが

$$NA \geq 0.8$$

を満たす光情報記録・再生用の対物レンズであって、

前記対物レンズの体積をVとするとき、

$$(4/3) \pi r^3 = V$$

を満たす $r$ が、前記凸非球面の近軸曲率半径Rとの間で、

$$1.0 \leq r/R \leq 1.35$$

なる関係を満足することを特徴とするモールドプレスレンズであることを特徴としている。

#### [作用]

すなわち、本発明の請求項1による対物レンズの製造方法は、所定形状に予備成形し、加熱軟化した状態の成形素材を、対向する成形面を有する上下一対の金型を用いてプレス成形することを含む、光情報記録・再生用の対物レンズの製造方法において、

前記対物レンズは、第1面に凸非球面を有し且つ開口数NAが、

$$NA \geq 0.8$$

を満たすレンズであり、

$r$ を半径とする球形状の成形素材を用い、該成形素材を上下一対の金型間で押圧することによって成形面形状を転写する工程を含むとともに、

前記凸非球面の近軸曲率半径Rは、

$$r/R \leq 1.35$$

なる関係を満足する。

このような構成により、モールド非球面単レンズからなる光情報記録・再生用の対物レンズにおけるレンズ収差の抑制およびレンズの製造性を両立させて、優れた光学特性を確保し、且つ金型の成形面を加工する型加工の段階およびレンズを製造するプレス成形の段階などにおける高い生産効率を得ることができ、特に、

プリフォームと金型間に気体が閉じ込められたまま成形されることを効果的に防止し、面精度の高いレンズを成形することが可能となる。

尚、ここで光情報記録・再生用とは、記録又は再生の、少なくともいずれかに用いられるものであることを意味する。

また、金型とは金属、超硬合金、セラミクスなどからなるものを含み、その素材は特に限定されない。

また、本発明の請求項 2 による対物レンズは、請求項 1 の製造方法において、前記球形素材半径  $r$  および前記凸非球面の近軸曲率半径  $R$  が、

$$1. \quad 0 \leq r/R \leq 1.3$$

を満足する。

このような構成により、特に、製造性を一層向上し且つ軸外収差および色収差を一層改善することが可能となる。

すなわち、量産時の成形サイクルタイムを過度に長くせず、良好な歩留で十分な光学性能を達成できる。

本発明の請求項 3 による製造方法は、請求項 1 または請求項 2 の製造方法において、基準波長に対する前記対物レンズの光学倍率がゼロである。

このような構成により、特に、少なくとも基準波長についての無限系レンズとして用いるのに好適となる。

本発明の請求項 4 による製造方法は、請求項 1 ～請求項 3 のうちのいずれか 1 項の製造方法において、前記対物レンズの焦点距離を  $f$  (mm) とするとき、

$$0.5 \leq f \leq 2.1$$

を満足する。

このような構成により、特に、作動距離を確保し、軸外の面角収差、色収差、さらにはレンズ重量の増大をも効果的に抑制することが可能となる。

本発明の請求項 5 による製造方法は、請求項 1 ～請求項 4 のうちのいずれか 1 項の製造方法において、前記対物レンズが基準波長  $\lambda$  における、軸上波面収差を  $0.04\lambda$  rms 以下とする。

このような構成により、特に、当該レンズを用いる光ピックアップ等の組立てをさらに容易にすることが可能となる。

本発明の請求項6による製造方法は、請求項1～請求項5のうちのいずれか1項の製造方法において、前記対物レンズが、屈折率 $n$ が1.65以上、アッベ数 $v_d$ が40以上、そして屈伏点 $T_g$ が650℃以下の光学ガラスからなる。

このような構成により、特に、レンズ曲面の曲率を極端に強くすることなく、高い屈折力を得ることができ、且つ金型成形面の精密加工が比較的容易で、色収差を効果的に低減させることができるとともに、プレス成形条件および金型素材の選択も容易となる。

そして、本発明の請求項7による対物レンズは、第1面に凸非球面を有し且つ開口数 $NA$ が

$$NA \geq 0.8$$

を満たす光情報記録・再生用の対物レンズであって、

前記対物レンズの体積を $V$ とするとき、

$$(4/3) \pi r^3 = V$$

を満たす $r$ が、前記凸非球面の近軸曲率半径 $R$ との間で、

$$1.0 \leq r/R \leq 1.35$$

なる関係を満足することを特徴とするモールドプレスレンズである。

このようにすることにより、モールド非球面単レンズからなる光情報記録・再生用の対物レンズにおけるレンズ収差の抑制およびレンズの製造性を両立させて、優れた光学特性を確保し、且つレンズ製造に伴う型加工およびプレス成形などにおける高い生産効率を得ることができ、特に、プリフォームと金型間に気体が閉じ込められたまま成形されることを効果的に防止し、面精度の高いレンズを製造することが可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

本発明の実施の形態に係る光情報記録・再生用の対物レンズ光学系の構成を模式的に示す構成図である。

##### 【図2】

図1の対物レンズの形状を詳細に説明するための断面図である。

##### 【図3】

図 1 の対物レンズを成形する成形素材としてのガラスプリフォームの形状を模式的に示す図である。

【図 4】

本発明の第 1 の実施例の対物レンズ光学系の構成および該光学系における光路を模式的に示す図である。

【図 5】

図 4 の対物レンズにおける球面収差および非点収差を示す図である。

【図 6】

本発明の第 2 の実施例の対物レンズ光学系の構成および該光学系における光路を模式的に示す図である。

【図 7】

図 6 の対物レンズにおける球面収差および非点収差を示す図である。

【図 8】

本発明の第 3 の実施例の対物レンズ光学系の構成および該光学系における光路を模式的に示す図である。

【図 9】

図 8 の対物レンズにおける球面収差および非点収差を示す図である。

【図 10】

本発明の第 4 の実施例の対物レンズ光学系の構成および該光学系における光路を模式的に示す図である。

【図 11】

図 10 の対物レンズにおける球面収差および非点収差を示す図である。

【図 12】

本発明の第 5 の実施例の対物レンズ光学系の構成および該光学系における光路を模式的に示す図である。

【図 13】

図 12 の対物レンズにおける球面収差および非点収差を示す図である。

【図 14】

本発明の第 6 の実施例の対物レンズ光学系の構成および該光学系における光路を模式的に示す図である。



【図 1 5】

図 1 4 の対物レンズにおける球面収差および非点収差を示す図である。

【図 1 6】

本発明の第 7 の実施例の対物レンズ光学系の構成および該光学系における光路を模式的に示す図である。

【図 1 7】

図 1 6 の対物レンズにおける球面収差および非点収差を示す図である。

【図 1 8】

本発明の第 8 の実施例の対物レンズ光学系の構成および該光学系における光路を模式的に示す図である。

【図 1 9】

図 1 8 の対物レンズにおける球面収差および非点収差を示す図である。

【図 2 0】

本発明の第 9 の実施例の対物レンズ光学系の構成および該光学系における光路を模式的に示す図である。

【図 2 1】

図 2 0 の対物レンズにおける球面収差および非点収差を示す図である。

【図 2 2】

本発明の第 1 0 の実施例の対物レンズ光学系の構成および該光学系における光路を模式的に示す図である。

【図 2 3】

図 2 2 の対物レンズにおける球面収差および非点収差を示す図である。

【図 2 4】

押圧速度と、 $r/R$  の相関を示す図である。

【符号の説明】

- 1 対物レンズ
- 2 カバーガラス (C G)
- 3 光束
- P F プリフォーム
- R c 対物レンズのコーナの半径

$R_o$  外径の半径

$R_E$  第1面の有効径の半径

$r$  プリフォーム（球形素材）の半径

#### 【発明の実施の形態】

以下、本発明に係る実施の形態に基づき、図面を参照して本発明の対物レンズおよびその製造方法を詳細に説明する。

図1～図3は、本発明の実施の形態に係る光情報記録・再生用の対物レンズの構成を説明するためのものである。図1は、光情報記録・再生用の対物レンズ光学系の構成を模式的に示す構成図、図2は、図1の対物レンズの形状を詳細に説明するための断面図、そして図3は、図1の対物レンズを成形する成形素材、つまりプリフォーム、の形状を模式的に示す図である。

図1に示す対物レンズ光学系は、対物レンズ1およびカバーガラス（CG）2を具備している。対物レンズ1は、ここでは、後述する第1の実施例に相当するレンズ形状として示されており、図1には、対物レンズ1に入射する光束3も示されている。カバーガラス2は、光ディスク等の光情報記録媒体の表面を保護する保護層、すなわちカバーガラスである。

本発明の一つの実施の形態に係る光情報記録・再生用の対物レンズ1は、第1面に凸非球面を形成し、且つ開口数NAが、

$$NA \geq 0.8$$

を満たすレンズである。この対物レンズ1は、第2面にも非球面を形成することが望ましいが、第2面は、凸非球面であっても凹非球面であっても良い。

そして、球形のプリフォームPFを用いて成形するとき、その半径 $r$ が、前記凸非球面の近軸曲率半径 $R$ との間で、

$$r/R \leq 1.35$$

を満足するようにすることにより、プリフォームPFと金型間に気体が閉じ込められたまま成形されることを防止し、面精度の高いレンズを成形することが可能である（請求項1に対応する）。

さらに、この半径比 $r/R$ を1.3以下にすることにより、製造性が、一層向上する。また、より望ましくは、半径比 $r/R$ を1.0以上とすれば、軸外収差

および色収差を、さらに改善することができる（請求項2に対応する）。さらに好ましくは、1.2以下、1.0以上である。

本発明に係る対物レンズは、光学倍率をゼロとしており、無限系レンズとして用いることが望ましいが、使用する光学系に応じて、発散光を入射させる有限系レンズ等として用いるようにしても良い（請求項3に対応する）。特に、単一の光学系の対物レンズを用いて、複数の波長による記録・再生を行う場合など、一つの波長においては無限系、他の波長においては有限系に用いることも可能である。

また、焦点距離を  $f$  とするとき、作動距離を確保する上で、

$$0.5 \text{ (mm)} \leq f$$

であることが望ましい。また、

$$f > 2.1 \text{ (mm)}$$

では、軸外の画角収差および色収差が増大する上に、レンズ重量も増大するため、

$$f \leq 2.1 \text{ (mm)}$$

であることが望ましい（請求項4に対応する）。より望ましくは、

$$f \leq 1.8 \text{ (mm)}$$

であり、さらに望ましくは、

$$f \leq 1.2 \text{ (mm)}$$

である。

本発明に係る対物レンズ1は、基準波長  $\lambda$  における画角  $0.5^\circ$  についての軸外波面収差を  $0.15 \lambda \text{ rms}$  以下とすることが望ましく、より望ましくは  $0.07 \lambda \text{ rms}$  以下、さらに望ましくは、 $0.05 \lambda \text{ rms}$  以下が良い。このようにすれば、光ピックアップユニットの組立が容易になる。また、軸上波面収差は、例えば  $0.01 \lambda \text{ rms}$  以下の、ゼロに近い数値で設計することが望ましく、成形されたレンズにおける実測値としては、 $0.04 \lambda \text{ rms}$  以下であることが望ましい。

さらに、色収差は、 $0.6 \mu\text{m}/\text{nm}$  以下が望ましい。ここで、基準波長  $\lambda$  とは、本発明の対物レンズ1を適用する光ピックアップの使用波長であり、例えば、 $450 \text{ nm}$  以下の所定波長などとすることができる。具体例としては、 $400 \sim 4$

50nm とすることができ、例えば407.50nmの青紫色半導体レーザーなどが適用できる。

本発明に係る対物レンズ1は、図2に示す外径の半径 $R_o$  (mm) と、第1面の有効面径 (図1に示す光束3の径と同じである) の半径 $R_E$  (mm) との間に、

$$0.2 \leq (R_o - R_E) \leq 0.6$$

が満たされることが望ましい。これは、レンズの光学有効径の外側の部分に、レンズ取付け部 (フランジ部) などの平面部を設ける際に、その部分の面積が過度に大きいと、成形に用いる成形素材の体積が大きくなり、上述した面精度悪化の問題が起きやすいためである。

本発明の対物レンズ1の体積は、 $0.3 \sim 25 \text{ mm}^3$ であることが好ましく、より好ましくは、 $0.5 \sim 15 \text{ mm}^3$ である。この範囲内であれば、対物レンズの駆動に過度の負荷がかからず、正常な動作が維持でき、また本発明の製造方法により、高精度のレンズが成形できる。

本発明に係る対物レンズ1は、ガラスまたは樹脂等の光学素材により成形され、使用する光学素材としては、例えば、予め所定形状および重量に予備成形した、球形状のガラスプリフォームPFが好適である。この場合、使用されるプリフォームPFの光学特性として、基準波長 $\lambda$ における屈折率 $n$ は、1.65以上であり、望ましくは1.7以上である。このような屈折率を選択することにより、レンズ曲面の曲率を極端に強くすることなく、高度の屈折力を得ることができるため、金型成形面を、研削および研磨加工などの精密加工によって形成する際に比較的加工が容易であり、有利である。アッベ数 $v_d$ は、望ましくは40以上であり、さらには50以上であることが、レンズの色収差を低減させる上で望ましい。さらに、本発明に係る対物レンズ1には、比重 $2.20 \sim 4.70 \text{ g/cm}^3$ の光学ガラスを用いることが望ましい。これは、比重を小さくすることによって光ピックアップの駆動電力を小さくすることができるからである。また、ガラスの屈伏点 $T_s$ は過度に高いと、成形温度が高くなるため、精密な鏡面加工を行なうことができ且つ十分な剛性を有する金型素材の選択が困難になる。したがって、屈伏点 $T_s$ は $650^\circ\text{C}$ 以下であることが望ましい (請求項6に対応する)。さらに、ガラスの液相温度 $L_T$ が適切な範囲にあると、所望の体積をもった球形のガラスプリフォームを熱間成形によって準備することが可能である。このため、液

相温度LTは、1000℃未満であることが望ましい。なお、ガラスプリフォームは、冷間で加工してもよいが、熱間成形を行なうようにすると、生産工程を短縮することができるので、有利である。因みに、熱間成形とは、溶融ガラスを滴下又は流下することによって形成する方法、冷間加工とは、カットしたガラスを研磨して成形する方法をいうものとする。

本発明に係る対物レンズ1の材料として特に望ましい光学ガラス素材の例を以下に挙げる。

すなわち、必須成分として、三酸化二ホウ素すなわち $B_2O_3$ 、酸化ランタンすなわち $La_2O_3$ 、酸化イットリウムすなわち $Y_2O_3$ 、二酸化ケイ素すなわち $SiO_2$ 、酸化リチウムすなわち $Li_2O$ 、酸化カルシウムすなわち $CaO$ 、酸化亜鉛すなわち $ZnO$ を含有し、屈折率 $n_d$ が1.675以上、アッベ数 $v_d$ が50以上、屈伏点 $T_g$ が650℃以下の光学ガラスが望ましい。光学恒数が上述したような利点を有する他、屈伏点 $T_g$ の温度が低いため、モールドプレスに適している。また、このようなガラスであって比重が $3.55\text{ g/cm}^3$ 以下であるものは、軽量である点で一層有利である。

さらに、上記光学ガラスであって、ガラス成分として、重量%で、 $B_2O_3$ を25～42%、 $La_2O_3$ を14～30%、 $Y_2O_3$ を2～13%、 $SiO_2$ を2～20%、 $Li_2O$ を2%より多く9%以下、 $CaO$ を0.5～20%、 $ZnO$ を2～20%、 $Gd_2O_3$ （酸化ガドリニウム）を0～8%、 $ZrO_2$ （酸化ジルコニウム）を0～8%、 $Gd_2O_3 + ZrO_2$ を0.5～12%含有し、且つこれらの成分の合計含有量が90%以上であり、さらに、場合により、 $Na_2O$ （酸化ナトリウム）を0～5%、 $K_2O$ （酸化カリウム）を0～5%、 $MgO$ （酸化マグネシウム）を0～5%、 $SrO$ （酸化ストロンチウム）を0～5%、 $BaO$ （酸化バリウム）を0～10%、 $Ta_2O_5$ （酸化タンタル）を0～5%、 $Al_2O_3$ （酸化アルミニウム）を0～5%、 $Yb_2O_3$ （酸化イッテルビウム）を0～5%、 $Nb_2O_5$ （酸化ニオブ）を0～5%、 $As_2O_3$ （三酸化二ヒ素）を0～2%および $Sb_2O_3$ （三酸化二アンチモン）を0～2%含有する光学ガラスであっても良い。

ここで、酸化ホウ素（三酸化二ホウ素）はガラス形成成分の役割を持ち、酸化ホウ素の含有量が25重量%未満ではガラスの耐失透性が低下し易くなり、42重量%を超えると高屈折率の光学ガラスを得ることが困難になる。また、酸化ラ

ンタンおよび酸化イットリウムは、高屈折率および低分散の光学ガラスを得ることに有効な成分である。酸化ケイ素（二酸化ケイ素）は、 $B_2O_3-L a_2O_3$ 系のガラスに適量含有させた場合に当該ガラスの耐失透性を向上させるという効果を奏する成分である。酸化リチウムは、ガラスの屈伏点 $T_s$ を下げる成分として有効である。酸化カルシウムは、 $B_2O_3-L a_2O_3$ 系のガラスの高屈折率特性および低分散特性を維持しながら当該ガラスの耐失透性を向上させるという効果を奏する成分である。酸化亜鉛は、酸化カルシウムと同様に $B_2O_3-L a_2O_3$ 系のガラスの高屈折率特性および低分散特性を維持しながら当該ガラスの耐失透性を向上させるという効果を奏する成分であり、さらに、ガラスの屈伏点 $T_s$ を下げる成分でもある。そして、酸化ガドリニウムおよび酸化ジルコニウムは、それぞれ適量含有させた場合にガラスの耐失透性を向上させる成分である。

これらの成分を上述した含有量の範囲内で組み合わせることにより、また、必要に応じて他の成分（任意成分）を含有させることにより、屈折率 $n$ が1.675以上、アッペ数 $\nu_d$ が50以上、屈伏点 $T_s$ が650℃以下、液相温度 $L T$ が1000℃未満という物性を有する光学ガラスを容易に得ることができる。

また、他の好適な光学ガラスとしては、必須成分として $B_2O_3$ 、 $SiO_2$ 、 $La_2O_3$ 、 $Gd_2O_3$ 、 $ZnO$ 、 $Li_2O$ 、 $ZrO_2$ を含むとともに、屈折率 $n_d$ が1.75～1.85で、アッペ数 $\nu_d$ が40～55である光学ガラスであっても良い。また、このようなガラスであって比重が4.70 g/cm<sup>3</sup>以下であるものが好適である。さらに、上述の光学ガラスであって、ガラス成分として、 $B_2O_3$ を25～45モル%、 $SiO_2$ を2～20モル%、 $La_2O_3$ を5～22モル%、 $Gd_2O_3$ を2～20モル%、 $ZnO$ を15～29モル%、 $Li_2O$ を1～10モル%および $ZrO_2$ を0.5～8モル%含むとともに、 $B_2O_3/SiO_2$ のモル比が2～5.5で、 $La_2O_3$ と $Gd_2O_3$ との合計含有量が12～24モル%および $ZnO$ と $Li_2O$ との合計含有量が25～30モル%である、光学ガラスであってもよい。この場合も各成分の役割は、先に述べたガラスの場合と同様である。

また、他の好適な光学ガラスとしては、 $SiO_2$ 、 $B_2O_3$ 、 $Li_2O$ 、 $ZnO$ 、 $La_2O_3$ 、 $ZrO_2$ 、 $Nb_2O_5$ 、 $Ta_2O_5$ を含み、屈折率 $n_d$ が1.75～1.85、アッペ数 $\nu_d$ が40～48である光学ガラスであっても良い。また、このよ

うなガラスであって、比重が $4.60\text{ g/cm}^3$ 以下であるガラスが好適である。  
ここで、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ は、高屈折率を得るための成分として有効である。

次に、本発明の実施の形態に係る光情報記録・再生用の対物レンズの製造方法について説明する。

本発明の実施の形態に係る対物レンズの製造方法は、所定形状に予備成形し、加熱軟化した状態の成形素材を、対向する成形面を有する上下一対の金型を用いてプレス成形することを含む、光情報記録・再生用対物レンズの製造方法である。  
前記対物レンズは、第1面に凸非球面を有する開口数NAが、

$$\text{NA} \geq 0.8$$

を満たすレンズであり、

$r$ を半径とする球形状の成形素材を用いて、上下一対の金型間で成形素材を押圧することによって成形面形状を転写する工程を含むとともに、前記凸非球面の近軸曲率半径 $R$ は、

$$r/R \leq 1.35$$

を満足する。

このような、本発明に係る製造方法によって製造される対物レンズについても、先に本発明に係る対物レンズに関連して述べたことが、同様に該当する。

モールドプレスによるガラスレンズの成形は、次のようにして行なう。

球形のガラス素材であるプリフォームを下型上に載置し、加熱手段により上型および下型を加熱する。

上型および下型が所定温度に達したら、下側主軸を駆動手段により所定の速度で上昇させることにより、上型と下型とを接近させ、互いに密着させることにより前記プリフォームを押圧する。

上型と下型は、それらの対向面に成形面を有し、成形面は、所望のレンズ形状を基に、精密な形状加工を施されている。

下型を移動させる速度（この速度を押圧速度という）は、少なくとも、上下型がプリフォームに接触し、プリフォームが変形する初期の段階では、過度に大きくしないことにより、プリフォームと成形面の間に気体が閉じ込められる現象を防止できる。

例えば、 $r/R$  の値が1を超えると、プリフォームと金型の成形面が接触しているときに、プリフォームと成形面の間に空間が生じる。この空間の最大高さを  $h$  とするとき、 $h$  に相当する距離分を上下型が接近する間（下型が移動開始してから  $h$  の距離だけ移動する、押圧初期の間）の押圧速度を過度に大きくしないことが好ましい。

このときの押圧速度は、例えば、 $1\text{ mm/sec}$  以下とすることができる。なお、下型が所定位置に達した時、好ましくは、下型が  $h$  の距離を移動した後に押圧速度を変化させるようにしてもよい。もちろん、逆に、下型を固定しておき、上型主軸を駆動手段によって所定速度で降下させるようにしてもよい。

押圧初期の押圧速度については後述する。

押圧時のガラスの温度は、ガラス粘度で、少なくともガラス表面において  $10^{6.5} \sim 10^{8.5}$  ポアズ相当であればよい。ただし、望ましくは、 $10^7 \sim 10^8$  ポアズ相当である。金型の温度も同様である。

プリフォームを押圧した後、上型および下型の冷却を開始する。冷却は、加熱装置の電源遮断や、気体のブローなどを用いて行う。冷却速度は、 $30 \sim 100^\circ\text{C/min}$  であればよい。 $T_g$  以下の温度となったのちに、プレス圧力を開放し、さらに取り出し可能な温度まで冷却して、型を分解し、レンズを取出す。連続的な成形においては、以上の工程を繰り返すことにより、レンズを大量生産することができる。

上記工程において、押圧時に、成形面とプリフォームの間に閉じ込められた気体を排出できずに成形した場合には、成形後のレンズに凹みが生じるなどの面精度不良が起きる。このような不良が生じないプレス成形、すなわち、押圧時に閉じ込められた気体を排出しながらガラスの変形が行える条件を発明者らは調査した。

図24は、閉じ込められた雰囲気ガスを排出できる、押圧初期の押圧速度の最大値を求め、プロットしたものを外挿して得たものである。押圧速度がゼロになる点での  $r/R$  はおよそ 1.36 であった。

したがって、 $r/R$  が 1.36 以上になる場合には、プレス速度をゼロもしくは無限に小さくしなければならず、 $r/R$  を 1.35 以下とすれば、十分な面精度のレンズが製造できることを見出した。



ここで用いたプリフォームは、光学ガラスA ( $B_2O_3$ 、 $SiO_2$ 、 $La_2O_3$ 、 $Gd_2O_3$ 、 $ZnO$ 、 $Li_2O$ 、 $ZrO_2$ 、を含有、屈折率  $n_d$  1.773、 $\nu_d$  47.3、 $T_s$  615°C) とした。

プレス成形においては、以下の条件を適用した。

プレス温度        632～645°C

プレス圧力        500～600N

プレス雰囲気       窒素雰囲気、 $1.01 \sim 1.5 \times 10^5$  Pa

尚、上記の結果は、他の光学ガラス（例えば光学ガラスB： $B_2O_3$ 、 $SiO_2$ 、 $La_2O_3$ 、 $ZnO$ 、 $Li_2O$ 、 $ZrO_2$ 、 $Nb_2O_5$ 、 $Ta_2O_5$ を含有、屈折率  $n_d$  1.804、 $\nu_d$  40.8、 $T_s$  600°C）によっても同様であることが確認された。

成形サイクルタイムを短縮し、生産効率よくレンズを得るためには、 $r/R$ 比が1.3以下であることが好ましい。

なお、上述した工程においては、プリフォームの半径  $r$  と成形面の半径  $R$  の関係に起因して、先に述べたように、プリフォームと成形面の間に閉じた空間が生じる場合にも、

精度の高いレンズを製造することができる。例えば、プレス室を減圧して、10 Torr以下程度にすることにより閉じた空間に気体が残留しないようにすることも可能である。

しかしながら、本発明によれば、プレス室を減圧しなくても、換言すれば、大気圧中の作業環境下でも、プレス時の温度条件や押圧速度を選択することにより、閉じ込められた雰囲気ガスを押圧動作に伴って適切に排出することができ、優れた形状の光学素子を成形することが可能である。

従って大掛かりな減圧装置や、成形時の排気時間などを要することなく、高付加価値のレンズを生産できる。

例えば、プリフォームが上述した温度にあるときに、適用する押圧速度を0.5 mm/sec以下とすることが有効であり、より望ましくは0.1 mm/sec以下とする。

このような押圧速度は、閉じた空間に閉じ込められた雰囲気ガスが排出されるまでの間に適用されればよい。すなわち、閉じた空間の高さ分の押圧が行われ、ガ

ラス素材が金型の成形面中心付近に密着した時点で、押圧速度を増大することができる。これは、成形サイクルタイムを短縮する上で、望ましい。

なお、プリフォームを下型上に供給するに先立ち、予め所定温度まで加熱しておくようにしても良い。供給後、ただちにプレスを開始してもよく、さらに金型内でプリフォームを加熱してからプレスするようにしてもよい。なお、上述においては、ガラスの精密モールドプレスについての製造工程を説明したが、樹脂の圧縮成形においても、ほぼ同様にして本発明を適用することができる。

上述のようにして、本発明に係る対物レンズにより、開口数NAが0.8以上の高密度記録媒体用の対物レンズにおいて、十分な記録・再生性能を満足するとともに、モールドプレス成形によって成形する際に、成形素材と金型成形面の間に閉じた空間が生まれても、閉じ込められた雰囲気ガスが押圧中に排出され、面精度の高いレンズを成形することが可能である。また、本発明のレンズは、成形されるレンズの非球面のRが極端に小さくならず、また、非球面の周辺角度が極端に大きくならないため、金型成形面を加工する段階で加工が容易に行える。本発明の対物レンズは、プレス成形後、芯取りを行わない、いわゆる芯取りレスレンズであることが好ましい。この場合、プレス成形時にレンズの外径が決定される、すなわち、プリフォームの体積が、レンズ体積に等しいことが、本発明には好適である。

#### 【実施例】

次に、上述した本発明に係る実施の形態に従った光情報記録・再生用の対物レンズの第1～第10の実施例について説明する。

以下の各実施例の説明における非球面の式は、xを光軸からyの高さにある非球面上の点に対する非球面頂点の接平面からの光軸方向の距離とし、Rを面の曲率半径、Kを円錐定数、そして $A_{2i}$ を $2 \cdot i$ 次の非球面係数として、次式であらわされる。

#### 【数1】

$$x = \frac{y^2/R}{1 + \sqrt{1 - (1+K)(y/R)^2}} + \sum_{i=2} A_{2i} y^{2i}$$

図4は、第1の実施例の対物レンズ光学系の構成およびその光路を示し、図5は、図4の第1の実施例における球面収差および非点収差を示す図である。図6は、第2の実施例の対物レンズ光学系の構成およびその光路を示し、図7は、図6の第2の実施例における球面収差および非点収差を示す図である。

図4および図6において、理解を容易にするために、各部の参照符号は図1の場合と共通であり、以下の第3～第10の実施例においても、共通の参照符号を用いるが、対物レンズ1の形状は、表1～表5に示されるように実施例毎に相違する。また、以下の第1～第10の各実施例において、1は対物レンズ、2はカバーガラス、3は光束を示す。

表1に第1および第2の実施例のデータを示す。これら第1および第2の実施例において、

波長 $\lambda = 407.5 \text{ nm}$ 、

開口数 $NA = 0.85$ 、

カバーガラス2 (CG) の屈折率 $n = 1.62$ 、

カバーガラス2 (CG) のアッベ数 $v_d = 31$

は共通である。

【表1】

実施例		1	2
f(mm)		1.765	1.765
d(mm)		1.7	3.0
n		1.83991	1.83991
$\nu$ d		40.73	40.73
外径(mm) R o		3.7	3.7
第 1 面	R(mm)	1.34996	1.63921
	K	-0.72572	-0.88854
	A4	1.65319E-02	1.42501E-02
	A6	3.55092E-03	3.12862E-03
	A8	1.14410E-04	-2.15994E-03
	A10	3.70659E-04	1.77282E-03
	A12	-1.77658E-04	-5.80687E-04
	A14	7.82955E-05	1.44070E-05
	A16	-3.79675E-05	9.70881E-06
	有効径(mm) R <sub>E</sub>	3.0	3.0
	面径(mm)	3.1	3.1
第 2 面	R(mm)	6.42935	-2.55057
	K	0.27805	-42.22949
	A4	8.85473E-03	1.41421E+00
	A6	-1.92803E-02	-1.15816E+01
	A8	-2.56970E-03	4.89764E+01
	A10	8.35378E-03	-1.06300E+02
	A12	-2.82742E-03	9.23442E+01
	有効径(mm) R <sub>E</sub>	2.2	1.0
	面径(mm)	2.61	1.2
CG	d(mm)	0.0875	0.0875
コーナ R c(mm)		0.2	0.2
レンズ体積 V(mm <sup>3</sup> )		11.3	25.9
プリフォーム r (mm)		1.39	1.83
プリフォーム r/レンズ R		1.03	1.12
軸上波面収差( $\lambda$ rms)		0.002	0.004
画角 0.5° 波面収差( $\lambda$ rms)		0.066	0.022
面平行偏心 2 $\mu$ m時の 軸上波面収差( $\lambda$ rms)		0.020	0.015
色収差( $\mu$ m/nm)		0.60	0.42

図 4 に示す第 1 の実施例において、対物レンズ 1 は、光源または受光部側の第 1 面に凸非球面を形成し、且つ光情報記録媒体側の第 2 面に凹非球面を形成した正メニスカスレンズである。表 1 および図 5 から明らかなように、各波面収差、

色収差、球面収差および非点収差などの収差は良く補正されており、良好なレンズ性能が得られていることがわかる。

また、図 6 に示す第 2 の実施例において、対物レンズ 1 は、光源または受光部側の第 1 面に凸非球面を形成し、且つ光情報記録媒体側の第 2 面にも光情報記録媒体側に凸面を向けてなる凸非球面を形成した両凸レンズである。この場合も、表 1 および図 7 から明らかなように、収差は良く補正されており、良好なレンズ性能が得られていることがわかる。

図 8 は、第 3 の実施例の対物レンズ光学系の構成およびその光路を示し、図 9 は、図 8 の第 3 の実施例における球面収差および非点収差を示す図である。図 10 は、第 4 の実施例の対物レンズ光学系の構成およびその光路を示し、図 11 は、図 10 の第 4 の実施例における球面収差および非点収差を示す図である。既に述べたように、図 8 および図 10 においても、理解を容易にするために、各部の参照符号は図 1 の場合と共通であり、共通の参照符号を用いるが、対物レンズ 1 の形状は、実施例毎に相違する。

表 2 に第 3 および第 4 の実施例のデータを示す。これら第 3 および第 4 の実施例においても、

波長  $\lambda = 407.5 \text{ nm}$ 、

開口数  $NA = 0.85$ 、

カバーガラス 2 (CG) の屈折率  $n = 1.62$ 、

カバーガラス 2 (CG) のアッベ数  $v_d = 31$

は共通である。

【表 2】

実施例		3	4
f(mm)		1.177	1.177
d(mm)		1.25	1.3
n		1.71504	1.71504
$\nu d$		53.2	53.2
外径(mm) : R o		2.7	2.7
第 1 面	R(mm)	0.85845	0.86586
	K	-0.43770	-0.47879
	A4	2.71643E-03	1.38249E-02
	A6	-5.73119E-03	-2.07543E-03
	A8	1.04332E-02	8.31353E-03
	A10	-3.83260E-02	-1.96745E-02
	A12	1.22058E-02	6.77846E-03
	A14	1.41147E-02	5.73530E-04
	A16	-3.95804E-02	-1.96777E-02
	有効径(mm) : R <sub>E</sub>	2.0	2.0
	面径(mm)	2.1	2.1
第 2 面	R(mm)	-16.67321	-11.15503
	K	382.07129	-3835.48604
	A4	4.19835E-01	3.24801E-01
	A6	-1.37111E+00	-1.23989E+00
	A8	2.44819E+00	2.41718E+00
	A10	-2.42706E+00	-2.59564E+00
	A12	1.08723E+00	1.18853E+00
	有効径(mm) : R <sub>E</sub>	1.5	1.4
	面径(mm)	1.562	1.6
	CG	d(mm)	0.0875
コーナ R c(mm)		0.15	0.15
レンズ体積 V(mm <sup>3</sup> )		3.9	4.2
プリフォーム r (mm)		0.98	1.00
プリフォーム r/レンズ R		1.14	1.16
軸上波面収差( $\lambda$ rms)		0.000	0.000
画角 0.5° 波面収差( $\lambda$ rms)		0.040	0.040
面平行偏心 2 $\mu$ m 時の 軸上波面収差( $\lambda$ rms)		0.023	0.022
色収差( $\mu$ m/nm)		0.28	0.28

図 8 に示す第 3 の実施例において、対物レンズ 1 は、光源または受光部側の第 1 面に凸非球面を形成し、且つ光情報記録媒体側の第 2 面にも光情報記録媒体側に凸面を向けてなる凸非球面を形成した両凸レンズである。表 2 および図 9 から

明らかなように、各波面収差、色収差、球面収差および非点収差などの収差は良く補正されており、良好なレンズ性能が得られていることがわかる。

また、図 1 0 に示す第 4 の実施例において、対物レンズ 1 は、光源または受光部側の第 1 面に凸非球面を形成し、且つ光情報記録媒体側の第 2 面にも光情報記録媒体側に凸面を向けてなる凸非球面を形成した両凸レンズである。この場合も、表 2 および図 1 1 から明らかなように、各収差は良く補正されており、良好なレンズ性能が得られていることがわかる。

図 1 2 は、第 5 の実施例の対物レンズ光学系の構成およびその光路を示し、図 1 3 は、図 1 2 の第 5 の実施例における球面収差および非点収差を示す図である。図 1 4 は、第 6 の実施例の対物レンズ光学系の構成およびその光路を示し、図 1 5 は、図 1 4 の第 6 の実施例における球面収差および非点収差を示す図である。既に述べたように、図 1 2 および図 1 4 においても、理解を容易にするために、各部の参照符号は図 1 の場合と共通であり、共通の参照符号を用いるが、対物レンズ 1 の形状は、実施例毎に相違する。

表 3 に第 5 および第 6 の実施例のデータを示す。これら第 5 および第 6 の実施例においても、

波長  $\lambda = 407.5 \text{ nm}$ 、

開口数  $NA = 0.85$ 、

カバーガラス 2 (CG) の屈折率  $n = 1.62$ 、

カバーガラス 2 (CG) のアッペ数  $v_d = 31$

は共通である。

【表 3】

実施例		5	6
f(mm)		1.177	0.588
d(mm)		1.4	0.55
n		1.71504	1.83991
$\nu$ d		53.2	40.73
外径(mm) : R o		2.7	1.5
第 1 面	R(mm)	0.88323	0.46204
	K	-0.49345	-0.57219
	A4	2.06827E-02	2.77053E-01
	A6	-7.79092E-03	6.00121E-01
	A8	1.35840E-02	-3.43715E-01
	A10	-1.34238E-02	1.03343E+00
	A12	1.39718E-03	2.40244E+01
	A14	-5.80317E-04	-3.40795E+02
	A16	-1.43769E-02	5.66410E+02
	有効径(mm) : R <sub>E</sub>	2.0	1.0
	面径(mm)	2.0	1.15
第 2 面	R(mm)	-5.99808	3.27357
	K	-1880.48429	-285.50258
	A4	3.14551E-01	2.68889E+00
	A6	-1.34276E+00	-3.94972E+01
	A8	2.65845E+00	2.90984E+02
	A10	-2.63674E+00	-1.13570E+03
	A12	9.41882E-01	1.85941E+03
	有効径(mm) : R <sub>E</sub>	1.3	0.8
	面径(mm)	1.5	0.85
CG	d(mm)	0.0875	0.1
コーナ Rc(mm)		0.15	0.03
レンズ体積 V(mm <sup>3</sup> )		4.8	0.44
プリフォーム r(mm)		1.05	0.47
プリフォーム r/レンズ R		1.18	1.02
軸上波面収差( $\lambda$ rms)		0.002	0.000
画角 0.5° 波面収差( $\lambda$ rms)		0.038	0.021
面平行偏心 2 $\mu$ m 時の 軸上波面収差( $\lambda$ rms)		0.020	0.017
色収差( $\mu$ m/nm)		0.27	0.20

図 1 2 に示す第 5 の実施例において、対物レンズ 1 は、光源または受光部側の第 1 面に凸非球面を形成し、且つ光情報記録媒体側の第 2 面にも光情報記録媒体側に凸面を向けてなる凸非球面を形成した両凸レンズである。表 3 および図 1 3



から明らかなように、収差は良く補正されており、良好なレンズ性能が得られていることがわかる。

また、図 1 4 に示す第 6 の実施例において、対物レンズ 1 は、光源または受光部側の第 1 面に凸非球面を形成し、且つ光情報記録媒体側の第 2 面に光情報記録媒体側に凹面を向けてなる凹非球面を形成した正メニスカスレンズである。この場合も、表 3 および図 1 5 から明らかなように、収差は良く補正されており、良好なレンズ性能が得られていることがわかる。

図 1 6 は、第 7 の実施例の対物レンズ光学系の構成およびその光路を示し、図 1 7 は、図 1 6 の第 7 の実施例における球面収差および非点収差を示す収差図である。図 1 8 は、第 8 の実施例の対物レンズ光学系の構成およびその光路を示し、図 1 9 は、図 1 8 の第 8 の実施例における球面収差および非点収差を示す収差図である。既に述べたように、図 1 6 および図 1 8 においても、理解を容易にするために、各部の参照符号は図 1 の場合と共通であり、共通の参照符号を用いるが、対物レンズ 1 の形状は、実施例毎に相違する。

表 4 に第 7 および第 8 の実施例のデータを示す。これら第 7 および第 8 の実施例においても、

波長  $\lambda = 407.5 \text{ nm}$ 、

開口数  $NA = 0.85$ 、

カバーガラス 2 (CG) の屈折率  $n = 1.62$ 、

カバーガラス 2 (CG) のアッペ数  $v_d = 31$

は共通である。

【表 4】

実施例		7	8
f(mm)		0.588	0.588
d(mm)		0.75	0.95
n		1.83991	1.83991
$\nu d$		40.73	40.73
外径(mm) $R_o$		1.5	1.5
第1面	R(mm)	0.50127	0.55551
	K	-0.58282	-0.60018
	A4	2.12415E-01	1.75957E-01
	A6	4.32800E-01	2.55080E-01
	A8	-1.66207E+00	-1.39432E+00
	A10	2.12004E+01	2.01205E+01
	A12	-1.34791E+02	-1.45960E+02
	A14	3.91953E+02	5.31854E+02
	A16	-6.22915E+02	-8.85589E+02
	有効径(mm) $R_E$	1.0	1.0
	面径(mm)	1.15	1.15
第2面	R(mm)	-10.6053	-0.97615
	K	1293.70381	-147.24370
	A4	5.22824E+00	5.72506E+00
	A6	-1.24761E+02	-1.61246E+02
	A8	1.69999E+03	5.92920E+02
	A10	-1.31926E+04	2.59250E+04
	A12	4.72334E+04	-2.66508E+05
	有効径(mm) $R_E$	0.53	0.4
	面径(mm)	0.58	0.45
CG	d(mm)	0.1	0.1
コーナ $R_c$ (mm)		0.1	0.1
レンズ体積 $V$ (mm <sup>3</sup> )		0.81	1.2
プリフォーム $r$ (mm)		0.58	0.66
プリフォーム $r$ /レンズ $R$		1.15	1.19
軸上波面収差( $\lambda$ rms)		0.001	0.000
画角 0.5° 波面収差( $\lambda$ rms)		0.013	0.004
面平行偏心 2 $\mu$ m時の 軸上波面収差( $\lambda$ rms)		0.017	0.017
色収差( $\mu$ m/nm)		0.17	0.14

図16に示す第7の実施例において、対物レンズ1は、光源または受光部側の第1面に凸非球面を形成し、且つ光情報記録媒体側の第2面にも光情報記録媒体側に凸面を向けてなる凸非球面を形成した両凸レンズである。表4および図17

から明らかなように、収差は良く補正されており、良好なレンズ性能が得られていることがわかる。

また、図18に示す第8の実施例において、対物レンズ1は、光源または受光部側の第1面に凸非球面を形成し、且つ光情報記録媒体側の第2面にも光情報記録媒体側に凸面を向けてなる凸非球面を形成した両凸レンズである。この場合も、表4および図19から明らかなように、収差は良く補正されており、良好なレンズ性能が得られていることがわかる。

図20は、第9の実施例の対物レンズ光学系の構成およびその光路を示し、図21は、図20の第9の実施例における球面収差および非点収差を示す収差図である。図22は、第10の実施例の対物レンズ光学系の構成およびその光路を示し、図23は、図22の第10の実施例における球面収差および非点収差を示す収差図である。既に述べたように、図20および図22においても、理解を容易にするために、各部の参照符号は図1の場合と共通であり、共通の参照符号を用いるが、対物レンズ1の形状は、実施例毎に相違する。

表5に第9および第10の実施例のデータを示す。これら第9および第10の実施例においても、

波長 $\lambda = 407.5 \text{ nm}$ 、

開口数 $NA = 0.85$ 、

カバーガラス2 (CG) の屈折率 $n = 1.62$ 、

カバーガラス2 (CG) のアッペ数 $v_d = 31$

は共通である。

【表5】

実施例		9	10
f(mm)		1.176	1.765
d(mm)		2.0	2.7
n		1.71504	1.71504
$\nu d$		53.2	53.2
外径(mm) : $R_0$		2.7	3.7
第 1 面	R(mm)	1.01159	1.43413
	K	-0.50802	-0.94008
	A4	1.49700E-02	2.22337E-02
	A6	-1.56373E-03	4.17484E-03
	A8	1.05909E-02	-1.46299E-03
	A10	-1.97035E-02	1.36769E-03
	A12	6.72654E-03	-4.33880E-04
	A14	9.38731E-03	3.40392E-05
	A16	-1.27879E-02	-1.32607E-05
	有効径(mm) : $R_E$	2.0	3.0
	面径(mm)	2.1	3.1
第 2 面	R(mm)	-0.87763	-2.25887
	K	-65.41056	-94.43297
	A4	5.96369E-01	3.89491E-01
	A6	-6.34510E+00	-1.84241E+00
	A8	1.77795E+01	4.20190E+00
	A10	5.16701E+01	-4.94239E+00
	A12	-2.97205E+02	2.34865E+00
	有効径(mm) : $R_E$	0.75	1.30
	面径(mm)	0.90	1.45
CG	d(mm)	0.0875	0.0875
コーナ $R_c$ (mm)		0.2	0.2
レンズ体積 $V$ (mm <sup>3</sup> )		29.8	75.5
プリフォーム r(mm)		1.27	1.72
プリフォーム r/レンズ R		1.25	1.20
軸上波面収差( $\lambda$ rms)		0.001	0.003
画角 0.5° 波面収差( $\lambda$ rms)		0.026	0.026
面平行偏心 2 $\mu$ m 時の 軸上波面収差( $\lambda$ rms)		0.015	0.020
色収差( $\mu$ m/nm)		0.20	0.34

図 20 に示す第 9 の実施例において、対物レンズ 1 は、光源または受光部側の第 1 面に凸非球面を形成し、且つ光情報記録媒体側の第 2 面にも光情報記録媒体側に凸面を向けてなる凸非球面を形成した両凸レンズである。この場合も、表 5 および図 21 から明らかなように、収差は良く補正されており、良好なレンズ性能が得られていることがわかる。

図 22 に示す第 10 の実施例においても、対物レンズ 1 は、光源または受光部側の第 1 面に凸非球面を形成し、且つ光情報記録媒体側の第 2 面にも光情報記録

媒体側に凸面を向けてなる凸非球面を形成した両凸レンズである。この場合も、表5および図23から明らかなように、収差は良く補正されており、良好なレンズ性能が得られていることがわかる。

尚、本発明は、上記実施例に限定されないことは言うまでもない。例えば、面平行偏心 $2\mu\text{m}$ 時の軸上波面収差( $\lambda\text{rms}$ )を大きく設計すれば、即ち面平行偏心公差を厳しくできれば軸外収差を改善することができる。

#### 【発明の効果】

以上述べたように、本発明によれば、モールド非球面単レンズからなる光情報記録・再生用の対物レンズにおけるレンズ収差の抑制およびレンズの製造性を両立させて、優れた光学特性を確保し、且つレンズ製造に伴う型加工およびプレス成形などにおける高い生産効率を得ることを可能とする対物レンズおよびその製造方法を提供することができる。

すなわち、本発明の請求項1の対物レンズの製造方法によれば、所定形状に予備成形し、加熱軟化した状態の成形素材を、対向する成形面を有する上下一対の金型を用いてプレス成形することを含む、光情報記録・再生用の対物レンズの製造方法において、

前記対物レンズは、第1面に凸非球面を有し且つ開口数NAが、

$$NA \geq 0.8$$

を満たすレンズであり、

$r$ を半径とする球形状の成形素材を用い、該成形素材を上下一対の金型間で押圧することによって成形面形状を転写する工程を含むとともに、

前記凸非球面の近軸曲率半径 $R$ は、

$$r/R \leq 1.35$$

なる条件を満足することにより、モールド非球面単レンズからなる光情報記録・再生用の対物レンズにおけるレンズ収差の抑制およびレンズの製造性を両立させて、優れた光学特性を確保し、特に、成形されるレンズの非球面の近軸曲率半径 $R$ が極端に小さくならず、または非球面の周辺角度が極端に大きくならないため、金型成形面を加工する段階での加工を容易に行い得ると共に、プレス成形段階でも且つレンズ製造に伴う型加工およびプレス成形などにおける高い生産効率を得

ることができ、特に、プリフォームと金型間に気体が閉じ込められたまま成形されることを効果的に防止し、面精度の高いレンズを成形することが可能となる。

また、本発明の請求項2の対物レンズによれば、請求項1の製造方法において、前記球形素材半径  $r$  および前記凸非球面の近軸曲率半径  $R$  が、

$$1. \quad 0 \leq r/R \leq 1.3$$

を満足することにより、特に、製造性を一層向上し且つ軸外収差および色収差を一層改善することが可能となる。

本発明の請求項3の製造方法によれば、請求項1または請求項2の製造方法において、対物レンズの基準波長に対する光学倍率がゼロであることにより、特に、少なくとも基準波長についての無限系レンズとして用いるのに好適となる。

本発明の請求項4の製造方法によれば、請求項1～請求項3のうちのいずれか1項の製造方法において、前記対物レンズの焦点距離を  $f$  (mm) とするとき、

$$0.5 \leq f \leq 2.1$$

を満足することにより、特に、作動距離を確保し、軸外の画角収差、色収差、さらにはレンズ重量の増大をも効果的に抑制することが可能となる。

本発明の請求項5の製造方法によれば、請求項1～請求項4のうちのいずれか1項の製造方法において、基準波長  $\lambda$  における、対物レンズの軸上波面収差を  $0.4 \lambda \text{ rms}$  以下とすることにより、特に、当該レンズを用いる光ピックアップ等の組立てをさらに容易にすることが可能となる。

本発明の請求項6の製造方法によれば、請求項1～請求項5のうちのいずれか1項の製造方法において、対物レンズが、屈折率  $n$  が1.65以上、アッベ数  $v_d$  が40以上、そして屈伏点  $T_g$  が650℃以下の光学ガラスからなる構成とすることにより、特に、レンズ曲面の曲率を極端に強くすることなく、高い屈折力を得ることができ、且つ金型成形面の精密加工が比較的容易で、色収差を効果的に低減させることができるとともに、金型素材の選択も容易となる。

また、本発明の請求項7の対物レンズによれば、  
第1面に凸非球面を有し且つ開口数  $NA$  が

$$NA \geq 0.8$$

を満たす光情報記録・再生用の対物レンズであって、

前記対物レンズの体積を  $V$  とするとき、

$$(4/3) \pi r^3 = V$$

を満たす  $r$  が、前記凸非球面の近軸曲率半径  $R$  との間で、

$$1. \quad 0 \leq r/R \leq 1.35$$

なる関係を満足することを特徴とするモールドプレスレンズとすることにより、モールド非球面単レンズからなる光情報記録・再生用の対物レンズにおけるレンズ収差の抑制およびレンズの製造性を両立させて、優れた光学特性を確保し、且つレンズ製造に伴う型加工およびプレス成形などにおける高い生産効率を得ることができ、特に、プリフォームと金型間に気体が閉じ込められたまま成形されることを効果的に防止し、面精度の高いレンズを製造することが可能となる。

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 所定形状に予備成形し、加熱軟化した状態の成形素材を、対向する成形面を有する上下一対の金型を用いてプレス成形することを含む、光情報記録・再生用の対物レンズの製造方法において、

前記対物レンズは、第 1 面に凸非球面を有し且つ開口数 NA が、

$$NA \geq 0.8$$

を満たすレンズであり、

r を半径とする球形状の成形素材を用い、該成形素材を上下一対の金型間で押圧することによって成形面形状を転写する工程を含むとともに、

前記凸非球面の近軸曲率半径 R は、

$$r/R \leq 1.35$$

なる条件を満足することを特徴とする対物レンズの製造方法。

【請求項 2】 前記 r および前記凸非球面の近軸曲率半径 R が、

$$1.0 \leq r/R \leq 1.3$$

を満足することを特徴とする請求項 1 に記載の対物レンズの製造方法。

【請求項 3】 前記対物レンズは、基準波長に対する光学倍率がゼロであることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の対物レンズの製造方法。

【請求項 4】 前記対物レンズの焦点距離を f (mm) とするとき、

$$0.5 \leq f \leq 2.1$$

を満足することを特徴とする請求項 1 ～請求項 3 のうちのいずれか 1 項に記載の対物レンズの製造方法。

【請求項 5】 前記対物レンズは、基準波長  $\lambda$  における、軸上波面収差が  $0.04\lambda$  rms 以下であることを特徴とする請求項 1 ～請求項 4 のうちのいずれか 1 項に記載の対物レンズの製造方法。

【請求項 6】 前記対物レンズは、屈折率 n が 1.65 以上、アッペ数  $\nu_d$  が 40 以上、そして屈伏点  $T_g$  が  $650^\circ\text{C}$  以下の光学ガラスからなることを特徴とする請求項 1 ～請求項 5 のうちのいずれか 1 項に記載の対物レンズの製造方法。

【請求項 7】 第 1 面に凸非球面を有し且つ開口数 NA が

$$NA \geq 0.8$$

を満たす光情報記録・再生用の対物レンズであって、



前記対物レンズの体積をVとすると、

$$(4/3) \pi r^3 = V$$

を満たす  $r$  が、前記凸非球面の近軸曲率半径  $R$  との間で、

$$1. \quad 0 \leq r/R \leq 1.35$$

なる関係を満足することを特徴とするモールドプレスレンズ。

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 モールド非球面単レンズからなる光情報記録・再生用の対物レンズにおけるレンズ収差の抑制およびレンズの製造性を両立させ、優れた光学特性を確保し、且つレンズ製造に伴う型加工およびプレス成形などにおける高い生産効率を得る。

【解決手段】 対物レンズ1は、第1面に凸非球面を形成し、且つ開口数 $NA \geq 0.8$ を満たす。この対物レンズ1は、第2面にも非球面を形成することが望ましい。所定形状に予備成形し、加熱軟化した状態の成形素材を、対向する成形面を有する上下一对の金型を用いてプレス成形し、 $r$ を半径とする球形状の成形素材を用い、該成形素材を上下一对の金型間で押圧することによって成形面形状を転写するとともに、前記凸非球面の近軸曲率半径 $R$ は、

$$r/R \leq 1.35$$

なる条件を満足するようにする。この対物レンズ光学系は、対物レンズ1およびカバーガラス（CG）2を具備している。

【選択図】 図1